

暴露環境における LPC-FA 系コンクリートの強度特性及びスケーリング抵抗性の考察

八戸工業高等専門学校 産業システム工学専攻 学生会員 ○川守田 祥吾
 八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 正会員 庭瀬 一仁

1. 目的

コンクリート構造物およびコンクリート製品は、所定の品質および性能を有するように使用材料、配合、養生、施工などが厳しく管理されている。しかし、北海道や東北地方などの寒冷地では、冬季の凍結融解作用によりスケーリングやポップアウトなどの表層部の劣化が見られている。これらの凍害は、融雪剤等に含まれる塩化物イオンの侵入による塩害及び中性化との複合劣化となる。

コンクリートの表層部は、内部へ侵入する外的劣化因子を防ぐ保護層としての役割を持つ。劣化の多くは表面から進行するため、表層部を緻密化することで強度特性や物質移動抵抗性を高める必要がある。一方で、膨張圧や浸透圧の観点からは低下する可能性もある¹⁾。

そこで本研究では、低熱ポルトランドセメントとフライアッシュを併用したコンクリート（LPC-FA系コンクリート）を水中養生および暴露環境下での各材齢において、圧縮強度試験や RILEM-CDF 法によるスケーリング試験に供し、劣化抵抗性の評価および検討をした。

2. 実験概要

まず、配合は既往の研究で施工性試験の実績がある W/B45% の LPC-FA 系コンクリートの配合を基本とし²⁾、W/B は、細孔構造に明らかな差をつくるために 60%、75% とした。空気量は、空気量調整剤の添加量により、概ね 2.5%、5.0%、7.5% となるように調整した。使用した示方配合表を表-1 に示す。

作製した供試体は、材齢 1 日で脱型し、恒温養生槽（20℃）にそれぞれ 28 日、91 日、365 日間水中養生および 3 年、5 年間暴露した後、各種試験に供した。

試験は、実際に凍結融解作用を受けた暴露供試体の圧縮強度試験、塩化物環境下での凍害を踏まえたスケーリング試験（RILEM CDF 法）を各種試験基準に準拠して実施した。暴露供試体の圧縮強度試験は、側面から φ50mm でコアリングを行い、カットと研磨をした後試験に供した。試験項目と方法は以下の通りである。

3. 試験結果・考察

3.1 スケーリング試験

各配合条件および材齢でのスケーリング量を図-1 に示す。暴露供試体の W/B75% については、空気量調整の都合により空気量が 3.8%、7.5% となっている。

水中養生において、28 日材齢では、空気量が大きいほど抵抗性が高く、W/B が大きいと空気量に関係なく抵抗性が低下することが確認された。W/B75% の配合では、いずれも 20 kg/m² 以上となっている。しかし、365 日材齢になると全ての配合で 2.5 kg/m² 以下となり、材齢の経過に伴う大幅な抵抗性の改善が確認された。特に W/B45%、空気量 2.5% では 0.70 kg/m² となり、空気量による相関も見られなくなった。

暴露供試体においては、3 年と 5 年材齢ともに同様の傾向が見られ、抵抗性についても同程度の結果となった。また、空気量との相関が確認でき、空気量の小さい配合において、15 サイクル以降から粗骨材の剥離が見られた。ここで、気象庁のデータより、暴露供試体は 3 年間で約 330 回、5 年間で約 500 回の凍結融解サイクルを受けていることが予想される。そのため、ポゾラン反応が十分に進行していない状態で、多くの凍結融解作用を受けたことで、塩化物イオンの浸透が容易だったことが要因であると考えられる。また、本研究では、サンプル数が 1 つしかないため、供試体作製およびサンプル採取に伴う人為的影響も考えられる。

次に 365 日間水中養生した供試体と 5 年間暴露された供試体について比較する。空気量の小さい配合では、

表-1 示方配合表

W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)							
		W	粉体 P			S	G	SP	AS
			結合材 B	LS					
			LPC	FA	LS				
45	2.5	160	249	107	178	883			
	5.0								
	7.5								
60	2.5	156	186	80	265	886	780	0.95	0.060
	5.0								
	7.5								
75	2.5	155	148	64	318	887			0.005 [*]
	5.0								
	7.5								

キーワード スケーリング, 圧縮強度, 低熱ポルトランドセメント, フライアッシュ, 凍害

連絡先 〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 TEL:0178-27-7223

暴露供試体のほうがスケーリング量を大きく上回る傾向が見られる。一方で、空気量の多い7.5%の配合では、暴露供試体のほうがスケーリング量の小さい結果となっていた。特にW/B45%では、空気量5.0%および7.5%のとき、水中養生された供試体はそれぞれ0.789 kg/m²、1.213 kg/m²であったが、暴露供試体では0.350 kg/m²、0.233 kg/m²となり、どちらの配合も暴露供試体が、水中養生した供試体に比べて高い抵抗性を示した。これは、一般的に使用されているコンクリート構造物と同等以上の結果である。

3.2 圧縮強度試験

各配合条件および材齢での圧縮強度を図-2に示す。図中の黒線は、標準偏差より求めた正規分布95.4%の範囲を示している。水中養生された供試体について、W/B75%の空気量3.8%ではなく5.0%の結果を示している。また、W/B45%は3年、W/B60%および75%は1年材齢の結果となっている。

水中養生された供試体について、1年材齢ではいずれの配合も40~50 N/mm²以上の強度を有しており、W/Bおよび空気量による相関が見られた。さらに、W/B45%の結果から、1年から3年材齢にかけて、ポズラン反応による20 N/mm²程度の強度増進が確認できた。

3年間暴露された供試体の強度は、水中養生1年における結果と比較的に近い値となっていた。しかし、暴露供試体においては、空気量による相関は見られなかった。

5年間暴露された供試体については、3年における強度よりも5~10 N/mm²程度低い結果となっていた。ここで、正規分布の範囲を見ると、水中養生での結果に比べて、暴露供試体の結果は全体的にばらつきが大きく、W/B45%の空気量5.0%およびW/B60%の空気量7.5%の配合以外では、3年、5年材齢ともに同じ範囲に正規分布がある。そのため、信頼性の低い結果であり、コアリング試験やカットに伴う衝撃荷重、凍結融解作用、コア抜き後の空洞を充填していないことによる影響も考えられる。また、降水量から約50~80mm程度の水分が供給されていたと予想される。そのため、ポズラン反応に必要な水分供給が不足しており、強度増進が確認できなかったと考えられる。しかし、土木学会では50 N/mm²以上で高強度コンクリートとされているため、十分な強度を有しているといえる。

4. まとめ

スケーリング試験では、W/B60%および75%では空気量5.0%以下、W/B45%では空気量2.5%以下で抵抗性が

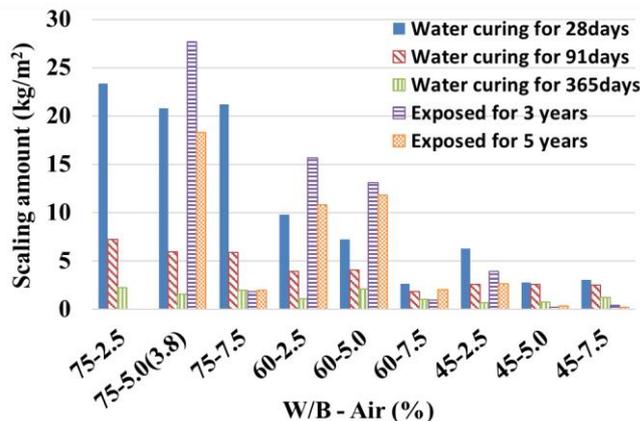


図-1 各配合および材齢におけるスケーリング量

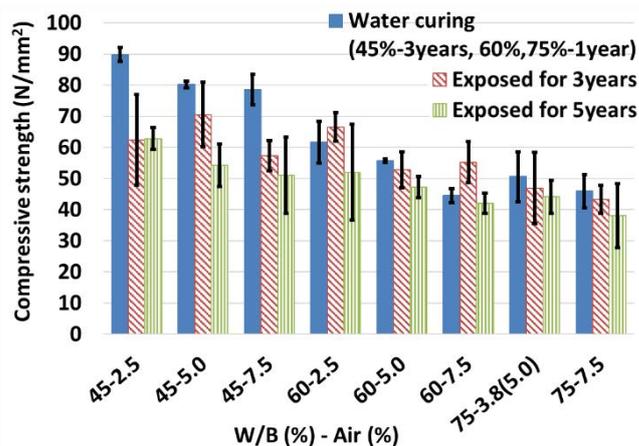


図-2 各材齢および配合における圧縮強度

大きく低下する傾向が確認された。しかし、十分な期間水中養生を行うことで、配合によらず高い劣化抵抗性を有する可能性があることが示唆された。

圧縮強度では、暴露供試体において、水分供給が少なくポズラン反応が十分に進行していない可能性が示唆された。しかし、W/Bによる差は見られなく、W/B75%においても十分な強度を有していることが確認されたため、強度特性は十分に有していると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、平成31年度社会資本の整備や維持管理に係る研究又は助成事業助成金を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) Powers, T. C. : Mechanisms of shrinkage and reversible creep of hardened cement paste、International Conference on the Structure of Concrete、Cement and Concrete Association、London、pp.319-344、1968
- 2) 庭瀬一仁、杉橋直行、辻幸和：低レベル放射性廃棄物処分施設の低拡散層に用いる高流動モルタルの室内配合選定、コンクリート工学論文集、Vol.21、No.3、pp.43-51、2010.9